Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 3, Fall 2023, p. 643-653

Investigating the Effect of Arbuscular Fungus on the Medicinal Plant Lemon Grass (*Cymbopogon citratus*) under Salt Stress

F. Soleimani[1], D. Samsampour[2*]- A. Bagheri[3]

Received: 12-02-2022
Revised: 26-07-2022
Accepted: 04-08-2022
Available Online: 04-08-2022

How to cite this article:
Soleimani, F., Samsampour, D., & Bagheri, A. (2023). Investigating the effect of arbuscular fungus on medicinal plant lemon grass (*Cymbopogon citratus*) under salt stress. *Journal of Horticultural Science, 37*(3), 643-653. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2022.75236.1140

Introduction

Medicinal plants have reservoirs rich in the active ingredients of many medicines. Medicinal plants have rich reservoirs of essential active ingredients of many drugs. Considering the importance of medicinal plants, especially in the pharmaceutical industry and their scarcity in nature, it is very important to study the various agricultural aspects of these plants, considering the increasing spread of saline soils, to find a solution. It seems necessary to prevent living and non-living environmental stresses or at least reduce them. One of these methods is the use of symbiotic relationships between mycorrhizal fungi and host plants, which reduces the stress caused by salinity. Due to the increasing expansion of saline soils, it seems necessary to find solutions that can prevent or at least reduce the living and non-living environmental stresses. There are different ways to overcome these tensions in different situations. Water salinization is one of the most important environmental limiting factors for crop production, especially in arid and semi-arid regions of the world, since Iran is located in the arid region of the world, given that salinity is one of the environmental factors. Are that have a strong effect on the growth and activity of lemongrass; There are also vast resources of saline and semi-saline groundwater, although not currently used and likely to be used in the future. Solutions to address abiotic stresses include the use of biofertilizers. One of these methods is to use the symbiosis of fungi with host plants, which leads to a reduction in salinity stress. The aim of this study was to investigate the effect of *Arbuscular mycorrhizal* fungi. On vegetative and biochemical traits of lemongrass under salinity stress. Salinity is one of the most important factors limiting the growth and production of crops. Fungi as a biological fertilizer can be useful in meeting the nutritional needs of plants and reducing the effects of environmental stresses on plants.

Materials and Methods

The experiment was a factorial experiment in a completely randomized design with two factors of four salinity levels (0, 5, 10 and 15 $ds.m^{-1}$ NaCl) and fungi (no inoculation and fungal inoculation). For inoculation of Arbuscular mycorrhizal fungi with mixed potting soil was applied to the lemongrass. Plant height, root length, fresh and dry weight of leaves, relative water content, catalase, peroxidase and polyphenol oxidase were measured.

Results and Discussion

The results indicate that all studied traits were significantly affected by the interaction of mycorrhiza and salinity stress. The application of mycorrhizal fungi in the presence of salinity stress due to the absorption of nutrients and water led to improved growth of lemongrass. The results showed that under salinity stress of 150 mM plant height, root length, fresh and dry weight of leaves, relative water content, catalase, peroxidase and

1 and 2- M.Sc. and Associate Professor of Horticulture Sciences Department, Faculty of Agriculture and Natural Resource, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: samsampoor@hormozgan.ac.ir)
3- Assistant Professor of Plant Protection Research Department, Hormozgan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Bandar Abbas, Iran
https://doi.org/10.22067/jhs.2022.75236.1140

polyphenol oxidase enzymes in lemongrass inoculated with arbuscular fungus at 23.05, 32.69, 25.31, 48.14, 31.83, 30.33, 52.72 and 33.41% respectively, increased compared to the control (no inoculation). In general, based on the results of this study, it can be concluded that the use of mycorrhizal fungi can increase the salinity tolerance of lemongrass and cultivate it in saline soil.

Conclusion

In summary, the results of the present study showed that inoculation of the fungi can protect the lemongrass plant against salinity stress. In addition, the effect of mycorrhizal fungi on lemongrass under salinity stress has been investigated for the first time. According to the results obtained in this study, salinity reduced morphological parameters and lemongrass as a reaction to salinity to maintain its status to increase the amount of enzyme activity through the mechanism of osmotic regulation to stress conditions. Compromise and to some extent deal with salinity. In the study, it was observed that inoculation with Arbuscular had a positive effect on all measured traits. The application of mycorrhizal fungi in the presence of salinity stress due to the absorption of nutrients and water led to improved growth of lemongrass. By examining all the measured traits, it can be concluded that by using mycorrhizal fungi, the salinity resistance of lemongrass can be increased and cultivated in saline soil. *Arbuscular* species seems to be more suitable for improving the growth of lemongrass in all conditions.

Keywords: Catalase, Medicinal plants, Peroxidase, Relative leaf water content

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷، شماره ۳، پاییز ۱٤۰۲، ص. ٦٥۳-٦٤۳

بررسی اثر قارچ آربوسکولار بر گیاه دارویی علف لیمو (*Cymbopogon citratus*) تحت تنش شوری

فائزه سلیمانی[1]- داود صمصام‌پور[2]*- عبدالنبی باقری[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۵/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۱۳

چکیده

شوری یکی از مهم ترین عوامل محدودکننده رشد و تولید گیاهان محسوب می‌شود. کاربرد قارچ‌ها به عنوان یک کود بیولوژیک می‌تواند در تامین نیاز غذایی گیاهان و کاهش اثرات تنش‌های محیطی بر گیاهان مفید باشد. گیاهان دارویی دارای مخازن غنی از مواد مؤثره اساسی بسیاری از داروها می‌باشند. با توجه به اهمیت گیاهان دارویی به‌ویژه در صنعت داروسازی و کمبود آن‌ها در طبیعت، بررسی جنبه‌های مختلف زراعی این گیاهان از اهمیت بسزایی برخوردار است، با توجه به گسترش روز افزون خاک‌های شور، دستیابی به راه‌حل‌هایی که بتوان از تنش‌های محیطی زنده و غیرزنده جلوگیری و یا حداقل نسبت به کاهش آن‌ها اقدام نمود، ضروری به‌نظرمی‌رسد. یکی از این روش‌ها استفاده از روابط همزیستی قارچ‌های میکوریزا با گیاهان میزبان می‌باشد که به کاهش تنش ناشی از شوری منجر می‌شود. این مطالعه با هدف بررسی تاثیر قارچ آربوسکولار بر صفات رویشی و بیوشیمیایی گیاه علف لیمو در شرایط تنش شوری انجام گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو عامل شوری (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر کلرید کلسیم) و قارچ (عدم تلقیح و تلقیح با قارچ) انجام شد. صفات ارتفاع بوته، طول ریشه، وزن تر و خشک برگ، محتوای نسبی آب، آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی فنل‌اکسیداز اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد تحت شرایط تنش شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر ارتفاع بوته، طول ریشه، وزن تر و خشک برگ، محتوای نسبی آب، آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز در گیاه علف لیمو تلقیح شده به قارچ آربوسکولار در مقایسه با شاهد (عدم تلقیح) افزایش معنی‌داری یافت. به‌طور کلی براساس نتایج این تحقیق، می‌توان نتیجه گرفت که با به کارگیری قارچ آربوسکولار می‌توان تحمل شوری گیاه علف لیمو را افزایش داد و اقدام به کشت آن در آب و خاک شور نمود.

واژه‌های کلیدی: پراکسیداز، کاتالاز، گیاهان دارویی، محتوای نسبی آب برگ

مقدمه

استفاده روزافزون از گیاهان دارویی و فرآورده‌های حاصل از آن نقش این گیاهان را در چرخه اقتصاد جهانی پر رنگ‌تر کرده است. در حال حاضر حدود ۷۰ درصد از جمعیت جهان برای اهداف مختلف درمانی از گیاهان دارویی و اسانس‌ها استفاده می‌کنند (He *et al.*, 2018). تولید و تجارت این گیاهان نیز رقم قابل ملاحظه‌ای را به خود اختصاص داده است. براساس آمار مرکز تجارت جهانی در سال ۲۰۱۸ صادرات جهانی؛ گیاهان دارویی حدود یک‌صد میلیارد و هفتصد میلیون دلار ارزش داشته است. همچنین پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۵۰ ارزش صادرات این بخش به رقم پنج تریلیون دلار برسد (Azarkish *et al.*, 2014). براساس آخرین آمار مرکز تجارت جهانی، کشور ایران با دارا بودن سهم ۰/۱ درصدی از صادرات جهانی گیاهان

۱ و ۲- به‌ترتیب کارشناسی ارشد و دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
(*- نویسنده مسئول: Emali: samsampoor@hormozgan.ac.ir)
۳- استادیار گروه تحقیقات گیاه‌پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی هرمزگان، سازمان آموزش و ترویج تحقیقات کشاورزی (AREEO)، بندرعباس، ایران

https://doi.org/10.22067/jhs.2022.75236.1140

دارویی در بین ۱۷۱ کشور صادرکننده در رتبه هفتاد و دوم قرار دارد. سهم اندک کشور در تولید و تجارت گیاهان دارویی و فرآورده‌های آن، بیانگر این موضوع است که همچنان ظرفیت تولید و صادرات گیاهان دارویی و فرآورده‌های آن در کشور مغفول مانده و پیش نیازهای توسعه این بخش مهیا نشده است (Minami and Yoshikawa, 1979). گیاهان دارویی منابعی از مواد موثره و ارزشمند هستند که می‌توانند به انواع داروها تبدیل شوند که برخی از آنها نجات دهنده زندگی هستند. اکثر زمین‌های قابل کشت در حال حاضر به کشت محصولات غذایی حیاتی اختصاص دارد که محدودیت هایی را برای کشت گسترده گیاهان دارویی ایجاد می‌کند. زمین‌های غیر قابل کشت اغلب تحت تأثیر تنش‌های مختلف غیرزیستی قرار دارند که شوری در بین آن‌ها غالب است (Banerjee and Roychoudhury, 2018).

گیاه علف لیمو (lemongrass) با نام علمی *Cymbopogon citratus* گیاهی چند ساله است که در نواحی گرمسیری و نیمه گرمسیری رشد می‌کند. از بخش‌های هوایی این گیاه در درمان بیماری متعددی از جمله اختلالات گوارشی، اختلالات قاعدگی، بیماری‌های التهابی، دیابت، بیماری‌های عصبی، تب، و بیماری‌های عروقی نظیر پرفشاری خون بطور سنتی استفاده می‌شده است. ترکیبات شیمیایی موجود در بخش‌های هوایی این گیاه شامل اسانس، تری‌ترپن‌ها و پلی‌فنول‌ها می‌باشد. سیترال مهم‌ترین ترکیب موجود در اسانس گیاه علف لیمو است که مسئول ایجاد بویی شبیه لیمو در این گیاه می‌شود (Hosseinian *et al*., 2018).

شوری بر متابولیسم گیاه از جنبه‌های مختلف تأثیر گذاشته و تغییراتی را در فیزیولوژی و مورفولوژی گیاه باعث می‌شود. پدیده تجمع نمک به سلول‌هایی محدود می‌شود که در حال تقسیم بوده و به شدت تنفس می‌کنند. این سلول‌ها بطور عمده سلول‌های مریستمی می‌باشند و از نظرجذب یون‌ها بسیار فعالند. علائم تنش شوری شبیه علائمی است که در گیاهان تحت تنش خشکی دیده می‌شود، با این تفاوت که گیاه متأثر از تنش شوری معمولاً دچار پژمردگی نمی‌شود. تنش شوری اثرات پیچیده‌ای بر فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه می‌گذارد و مهم‌ترین واکنش گیاه به تنش شوری کاهش میزان رشد است (Khazani *et al*., 2019). بوناسینا و همکاران (Bonacina *et al*., 2017) گزارش دادند که بالاترین غلظت شوری (۱۵۰ و ۲۰۰ میلی مول) به دلیل تغییر در فعالیت اسمزی باعث کاهش قابل توجهی در ارتفاع شاخساره، وزن زیست‌توده، مقدار نسبی آب، فعالیت آب و تولید کلروفیل بهلیمو شد. فعالیت‌های سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و کاتالاز (CAT) در گیاهان تحت شوری افزایش یافت. در پژوهشی شوری آب آبیاری باعث کاهش برخی خصوصیات رشد (کل سطح برگ، تعداد برگ، وزن کل توده تر و خشک) در بادرنجبویه شد. شوری آب آبیاری همچنین قندهای محلول کل و پرولین را افزایش داد (Idrees *et al*., 2012).

برای غلبه بر مشکل شوری خاک‌ها، راهکار بیولوژیکی جزء یکی از استراتژی‌های اساسی است که باید مورد توجه قرار گیرد. در این بین می‌توان به قارچ‌های میکوریزا اشاره کرد. قارچ‌های میکوریزا نقش مهمی در بهبود تغذیه و رشد گیاهان در شرایط شور دارند به نحوی که بعضی آن‌ها را به عنوان اصلاح‌کنندگان زیستی خاک‌های شور می‌نامند (Sánchez-Blanco *et al*., 2004). وجود قارچ‌های میکوریزا و ایجاد همزیستی با ریشهٔ بسیاری از گیاهان در خاک‌های شور، نشان می‌دهد که احتمالاً برخی از این قارچ‌ها در برابر تنش شوری مقاوم بوده و در همزیستی با گیاهان از طریق بهبود رشد گیاه، تحمل گیاهان را در برابر شوری افزایش می‌دهند (Abdel *et al*., 2016). پژوهشگران در تحقیقی دریافتند که گیاهان میکوریزایی شده گل میمونی *Antrihinum majus* L. نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی رشد رویشی، تاریخ گل‌دهی و طول سنبلهٔ بیشتری تحت تنش شوری دارند (El-Zahara and El-tony, 2020). در تحقیقی دیگر ارتفاع گیاه و حجم ریشه در گیاهان همزیست با میکوریزا به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بودند. افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز و محتوای پرولین و قندهای محلول در گیاهان همزیست با قارچ نشان دهندهٔ کاهش خسارت تنش در گیاهان همزیست بود (Khalvandi *et al*., 2017). قارچ‌ها، به لحاظ بهبود توانایی گیاه در جذب مواد غذایی، تعادل یونی، حفظ فعالیت آنزیم و افزایش محتوای کلروفیل؛ خطرات ناشی از تنش را کاهش داده و باعث افزایش تحمل گیاه در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی ازجمله شوری می‌شوند (Porcel *et al*., 2016). قارچ علاوه بر تحریک گیاه به افزایش سنتز ترکیبات فنلی و افزایش جذب فسفر و پتاسیم با هیف‌های قارچی، کاهش آثار تنش شوری در گیاه دارویی نعناع فلفلی را کاهش داد. به نظر می‌رسد کاربرد این قارچ بتواند با القای مقاومت به شوری، ویژگی های رشدی این گیاه دارویی را به‌طور چشمگیری در شرایط آبیاری با آب دریا بهبود بخشد (Khalid and Cai, 2011).

شور شدن آب یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی محدودکننده برای تولید محصول بخصوص در نواحی خشک و نیمه‌خشک جهان می‌باشد، از آن‌جایی‌که ایران در منطقه خشک جهان قرار دارد با توجه به اینکه شوری از جمله عوامل محیطی هستند که تأثیر شدیدی بر رشد و فعالیت گیاه علف لیمو دارد؛ همچنین منابع عظیمی از آب‌های سطحی زیرزمینی شور و نیمه‌شور وجود دارد، اگرچه در حال حاضر مورد استفاده قرار نگرفته‌اند احتمالاً در آینده استفاده خواهند شد، ازجمله راهکارهای مقابله با تنش‌های غیرزیستی، استفاده از کودهای بیولوژیک می‌باشد. با توجه به گسترش فرهنگ استفاده از گیاهان دارویی در سطح جهان و اهمیت آن‌ها و با در نظر گرفتن مسائل زیست‌محیطی ناشی از کاربرد نهاده‌های شیمیایی و همچنین با توجه به وسعت اراضی شور و استفاده بهینه از این اراضی، بررسی اثر شوری

و چگونگی تحمل گیاهان دارویی به آن الزامی است. در تحقیقی اثر سالسیلیک اسید بر گیاه علف لیمو تحت تنش شوری مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که سالسلیک اسید منجر به کاهش اثرات شوری در این گیاه و افزایش بهره‌وری می‌شود (Idrees *et al*., 2012). در مطالعه حاضر اثر قارچ آربوسکولار بر گیاه دارویی علف لیمو (*Cymbopogon citratus*) تحت تنش شوری مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تاثیر قارچ میکوریزای آربوسکولار بر صفات مورفولوژیک و بیوشیمیایی گیاه علف لیمو تحت تنش شوری، پژوهشی در سال زراعی ۱۳۹۹ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در گلخانه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی استان هرمزگان و اقع در شهر بندرعباس اجرا گردید. تیمارهای مورد آزمایش در این مطالعه شامل تیمار شوری در چهار سطح (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر)، قارچ میکوریزای آربوسکولار در دو سطح (عدم تلقیح و تلقیح با قارچ) در نظر گرفته شد. این گیاه در گلدان‌هایی با میزان تقریبی خاک ۲/۵ کیلوگرم و با کاشت یک گیاه در هر گلدان کشت شد. برای تعیین مقدار آب مورد نیاز آبیاری ابتدا گلدان‌ها وزن شد و سپس از طریق اختلاف وزن اندازه‌گیری شده با وزن گلدان در ظرفیت زراعی و در نظر گرفتن تیمارها، میزان آب (نیاز آبی) لازم برای هر گلدان به دست آمد. شرایط محیطی مانند نور، دما و ... برای همه نمونه‌ها یکسان بود.

قارچ آربوسکولار از موسسه رشد مرکز تحقیقات آب و خاک، واقع در شهرستان کرج تهیه شد. برای اعمال تیمار آربوسکولار به ازای وزن خاک هر گلدان به قطر و ارتفاع ۲۲ سانتی‌متر (۲/۵ کیلوگرم)، ۱۲۵ گرم آربوسکولار با خاک گلدان مخلوط شد. قبل از اعمال تنش شوری، تلقیح میکوریزای آربوسکولار به گیاهان انجام و یک ماه بعد پس از اطمینان (با کشت ریشه در محیط کشت رشد قارچ و بررسی و تایید زیر میکروسکوپ)، تنش شوری (سه بار) اعمال گردید. برای این منظور سطوح مختلف شوری، با اضافه کردن محلول کلرید سدیم به خاک گلدان‌ها به‌دست آمد. دو ماه بعد از اعمال تنش شوری، بوته‌ها برداشته و صفات مورد نظر بررسی گردید. برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته در پایان رشد رویشی، ارتفاع ۱۰ بوته از سطح خاک تا آخرین نقطه رشد توسط خط‌کش اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها بر حسب سانتی‌متر یادداشت گردید. طول ریشه با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد. وزن تر برگ با استفاده از ترازو دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ اندازه‌گیری شد و پس از قرار دادن برگ‌ها در آون به مدت ۴۸ ساعت با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد وزن خشک توسط ترازو اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC) به روش (Ritchie *et al*., 1990) با استفاده از فرمول زیر بدست آمد:

محتوای نسبی آب برگ= (وزن تر برگ- وزن خشک/وزن برگ در تورژسانس کامل- وزن خشک)

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز بر اساس تغییر شیمیائی نیترو بلوتترازولیوم و طبق روش (Minami and Yoshikawa, 1979) در طول موج ۵۶۰ نانومتر ارزیابی گردید. آنزیم کاتالاز براساس روش (Aebi, 1984) استفاده شد. تغییر جذب در اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۴۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید. به منظور سنجش فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز برحسب روش (Nakano and Asada, 1981) در طول موج ۲۹۰ نانومتر ارزیابی گردید. فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز طبق روش (Raymond *et al*., 1993) در طول موج ۴۳۰ نانومتر سنجش گردید.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی (CRD) با دو عامل (شوری و قارچ) انجام و میانگین مقادیر با آزمون LSD در سطح معنی‌داری ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

پارامترهای رشدی

اثر ساده قارچ، شوری در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل شوری و تلقیح قارچ بر ارتفاع بوته و طول ریشه گیاه علف لیمو به ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که حضور قارچ آربوسکولار نسبت به عدم حضور آن (شاهد) در سطح شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر به میزان ۲۳/۰۵ و ۳۲/۶۹ درصد باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته و طول ریشه شد (جدول ۲). با توجه به جدول ۱ نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که عامل شوری و قارچ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و اثر متقابل آن‌ها بر وزن تر و خشک برگ گیاه علف لیمو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). تحت تنش شدید شوری (۱۵ دسی‌زیمنس بر متر)، وزن تر و خشک برگ در گیاه تلقیح شده با قارچ آربوسکولار به‌ترتیب به میزان ۲۵/۳۱ و ۴۸/۱۴ درصد در مقایسه با شاهد (عدم تلقیح) افزایش یافت (جدول ۲). نتایج این مطالعه نشان داد که تلقیح قارچ تأثیر قابل توجهی بر برخی صفات رویشی گیاه علف لیمو تحت تنش شوری دارد. شوری باعث ایجاد تنش اسمزی و یونی در گیاهان می‌شود. مرحله اول تنش شوری، تنش اسمزی ناشی از شوری، باعث کمبود آب در ناحیه ریشه می‌شود و به طور مستقیم وضعیت آب گیاهان را مختل می‌کند. با این حال، گیاه طی چند ساعت بهبود می‌یابد و به سرعت آهسته و ثابت می‌رسد. مرحله دوم با گذشت زمان به واسطه سمیت گیاه توسط یون‌های Na^+ و Cl^- اضافی در سیتوپلاسم ایجاد می‌شود. علاوه بر این، تحت

تنش شوری، گیاهان به انرژی اضافی برای کاهش اثرات سمی یون‌های Na^+ نیاز دارند و همچنین با کمبود مواد مغذی روبرو هستند. همه این فرآیندها بر رشد گیاه تأثیر منفی می‌گذارد (Ilangumaran and Smith, 2017; Isayenkov and Maathuis, 2019). در مطالعاتی نشان داده شده است که کلونیزاسیون میکوریزا باعث افزایش رشد گیاه و کارآیی فتوسنتز در شرایط تنش می‌شود (Elhindi et al., 2017). تلقیح گیاه به قارچ جذب آب و مواد معدنی را از طریق ریشه گیاه و همچنین، انتقال آب و مواد مغذی از ریشه به برگ را تسهیل می‌کند و منجر به افزایش فتوسنتز و درنتیجه افزایش رشد می‌شود (Zandavalli et al., 2004). تنش شوری بر پارامترهای رشدی تلقیح شده با قارچ و عدم تلقیح تاثیر منفی گذاشت، با این حال به طور قابل توجهی قارچ آربوسکولار ویژگی‌های رشدی گیاه علف لیمو را در شرایط شور بهبود بخشیده است. افزایش تحمل شوری مشاهده شده در بادام زمینی تلقیح شده ممکن است به دلیل وضعیت تغذیه بهتر گیاهان باشد (Tuteja, 2007). تا حدی، این قارچ‌ها به عنوان بهبود دهنده‌های زیستی خاک‌های شور در نظر گرفته شده‌اند (Tajmir Riahi et al., 2014). گزارش شده است که تلقیح قارچ آربوسکولار باعث افزایش ویژگی‌های رشد چندین گیاه در معرض شرایط شوری مانند علف لیمو (*Cymbopogon citratus*) (Ait-El-Mokhtar et al., 2020)، گیاه دارویی (*Verbena officinalis* L.) می‌شود (Amanifar and Toghranegar, 2020). نتایج مقایسه میانگین نشان داد گیاهان تلقیح شده به قارچ آربوسکولار در سطوح شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب باعث بهبود طول برگ، عرض برگ و طول میانگره به‌ترتیب به میزان ۱۱/۵۰، ۸۷/۷۶ و ۳۶/۱۴ درصد نسبت به شاهد شد. اثرات مفید قارچ بر رشد در شرایط شور در گونه‌ها و خانواده‌های مختلف گیاهی مورد مطالعه قرار گرفته است (Ritchie et al., 1990). اما وقتی گیاهان در معرض غلظت‌های بیشتری از کلرید سدیم قرار گرفتند، بدون توجه به وجود یا عدم وجود قارچ‌ها، زیست توده گیاهان به میزان قابل توجهی کاهش یافت. دلیل اصلی اثرات مخرب ممکن است فشار اسمزی منفی ناشی از نمک در ناحیه ریشه یا مهار رشد به دلیل آسیب سلول‌ها در حال انتقال باشد (Tajmir Riahi et al., 2014). به طور کلی قارچ میکوریزا به کاهش نسبی تنش کمک کردند، همانطور که در گیاهان تلقیح شده نسبت به عدم تلقیح مشاهده شده است. در مطالعاتی نشان داده شده است که اثرات مفید همزیستی قارچی در تنش شوری افزایش می‌یابد (Bunn et al., 2009).

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر قارچ و تنش شوری بر فعالیت آنزیم‌ها و صفات رویشی گیاه علف لیمو

Table 1- ANOVA results for the effect of fungi and salinity on the activity of enzymes and vegetative traits of lemongrass

منابع تغییرات Source of Variations	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean squares							
		ارتفاع بوته Plant height	وزن خشک برگ Leaf dry weight	وزن تر برگ Leaf fresh weight	طول ریشه Root length	محتوای نسبی آب Relative water content	کاتالاز Catalase	پراکسیداز Peroxidas	پلی فنل اکسیداز polyphenoloxidase
قارچ Fungi	2	92.56**	0.028**	0.10**	476.69**	897.002**	13.32**	7718.76**	166.12**
شوری Salinity	3	174.85**	0.0012**	0.019**	199.84**	245.20**	3.23**	2627.86**	137.90**
قارچ × شوری Salinity × fungi	6	46.52*	0.0052**	0.020**	47.86**	12.03*	0.37**	91.64**	19.94**
خطا Error	24	13.92	0.0002	0.002	0.57	4.42	0.095	8.60	0.59
ضریب تغییرات CV (%)	-	6.05	5.02	5.47	2.27	3.97	5.07	3.55	4.64

ns، ** و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and * : non- significant, significant at the probability level of 1 and 5%, respectively.

جدول ۲- مقایسه میانگین برهمکنش قارچ و تنش شوری بر خصوصیات رشدی گیاه علف لیمو

Table 2- Comparison of mean fungal and salinity stress interactions on growth characteristics of lemongrass

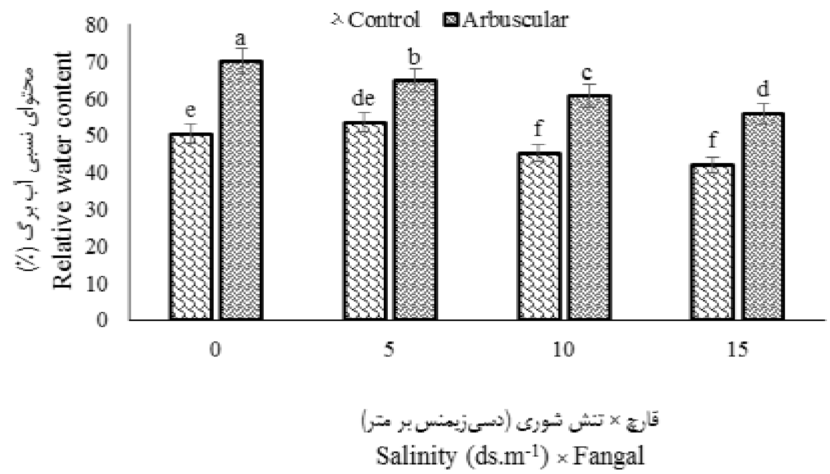
قارچ Fungi	شوری Salinity ($dS.m^{-1}$)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	طول ریشه Root length (cm)	وزن تر برگ Leaf fresh wight (g)	وزن خشک برگ Leaf Dry wight (g)
Control	0	67.00±0.47 ab	32.83±0.49 d	0.91±0.037 cd	0.30±0.011 c
	5	61.33±0.63b cd	30.50±0.23 e	0.86±0.010 de	0.28±0.002 cd
	10	55.85±0.45 cde	29.50±0.47 e	0.85±0.002 de	0.28±0.0005 cd
	15	44.42±0.5 1f	26.00±0.47 f	0.79±0.0009 e	0.27±0.005 d
Arbuscular	0	71.37±0.49 a	54.00±0.23 a	0.85±0.004 de	0.29±0.0071 cd
	5	65.56±0.55 ab	38.50±0.23 b	0.98±0.004 bc	0.36±0.0019 b
	10	58.88±0.40 cde	35.50±0.23 c	1.21±0.05 a	0.42±0.011 a
	15	54.66±0.27 e	34.50±0.23 c	0.99±0.02 b	0.40±0.013 a

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر سطر اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون LSD ندارند.

Means with the same letters in each row do not have a significant difference at the 5% of probability level based on LSD test.

محتوای نسبی آب برگ

اثر ساده قارچ، شوری و نیز اثر متقابل شوری و تلقیح قارچ بر پراکسیداز گیاه علف لیمو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که کاربرد تلقیح قارچ آربوسکولار در برابر عدم کاربرد آن در سطوح شوری (۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) به میزان ۳۱/۸۳ درصد باعث بهبود محتوای نسبی آب برگ شد (شکل ۱). بیشترین محتوای نسبی آب برگ در این تحقیق مربوط به کاربرد میکوریزا گونه آربوسکولار در غلظت ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر شوری بود. کاهش محتوای آب برگ و افزایش پتانسیل اسمزی، به همراه افزایش غلظت یون سدیم، پراکسیداسیون چربی‌ها و اختلال در کارکرد و ساختار غشاهای سلولی را در پی دارد (Ashraf and Ali, 2008). از آنجایی که محتوای نسبی اب برگی، یک شاخص مناسب برای تنش در گیاه محسوب می‌شود، از نتایج به دست آمده از این تحقیق می‌توان دریافت که تنش شوری اعمال شده بر متابولیسم گیاه علف لیمو موثر بوده و حرکت آب در طی شیب کاهش پتانسیل آب به درون گیاه هدایت یافته است. بنابراین گیاه علف لیمو توانسته است محتوای آب نسبی خود را تحت تنش شوری در حضور قارچ آربوسکولار نسبتا بالا نگاه دارد. همچنین تصور می‌شود افزایش جذب آب در گیاهان میکوریزا به هدایت هیدرولیکی ریشه در شرایط هم زیستی مربوط می‌باشد (Zhang *et al*., 2019). در پژوهشی بر روی علف گندمی بیابانی (*Agropyron desertorum*) دریافتند که با افزایش شدت تنش شوری محتوای نسبی آب برگ گیاهان مذکور به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Singh *et al*., 2000).



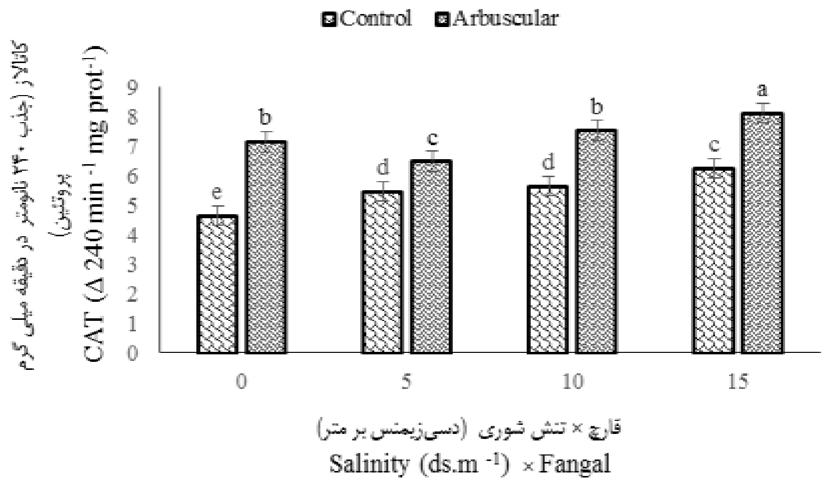
شکل ۱- اثر برهمکنش قارچ و تنش شوری بر محتوای نسبی آب برگ گیاه علف لیمو در شرایط گلخانه

Figure 1- The interaction effect of fungus and salinity stress on the relative water content of lemongrass in greenhouse conditions

(LSD, $p \leq 0.05$)

کاتالاز

با توجه به جدول ۱ نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که عامل‌های شوری و قارچ و اثر متقابل آن‌ها بر میزان فعالیت آنزیم کاتالاز گیاه علف لیمو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). تحت شرایط تنش شوری (۱۵ دسی‌زیمنس بر متر)، کاتالاز در گیاه تلقیح شده با قارچ آربوسکولار به میزان ۳۰/۳۳ درصد در مقایسه با شاهد (عدم تلقیح) افزایش یافت (شکل ۲). تنش شوری با ایجاد ناهنجاری در تولید و تخریب گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) باعث ایجاد تنش اکسیداتیو می‌شود (Gill and Tuteja, 2010). گیاهان از آنزیم‌های (POD، PPO و CAT) برای سم‌زدایی ROS استفاده می‌کنند (Nakano and Asada, 1981). نتایج داده‌ها نشان داد که تلقیح با قارچ، فعالیت آنزیمی را در حضور تنش شوری افزایش می‌دهد. نکته مهم این است که فعالیت کاتالاز درگیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزای آربوسکولار در سطح شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر افزایش یافته است. فعالیت بیشتر آنزیم‌ها با تحمل بیشتر گیاه به شوری ارتباط دارد (Benavídes *et al.*, 200). در نتایج مشاهده شد که گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا دارای فعالیت کاتالاز بیش‌تری هستند. فعالیت این آنزیم‌ها به دلیل عواملی مانند گونه‌های گیاهی، گونه‌های قارچ، سطح شوری و مدت زمان تنش متفاوت است (Evelin *et al.*, 2019).

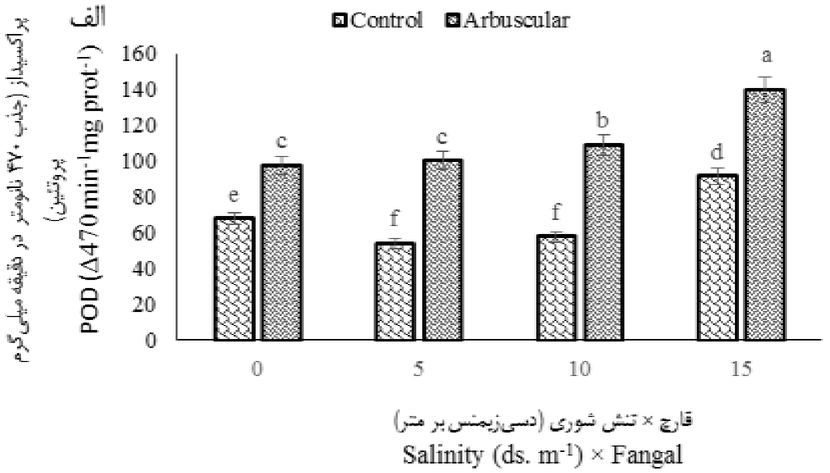


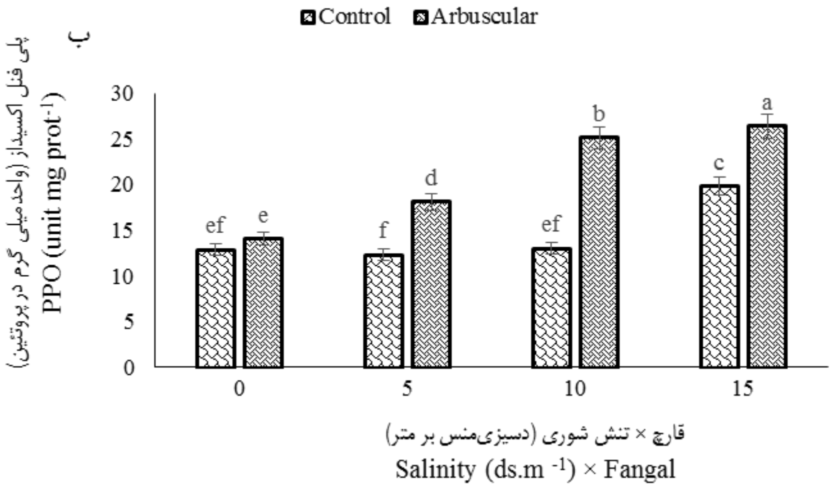
شکل ۲- اثر برهمکنش قارچ و تنش شوری بر محتوی آنزیم کاتالاز گیاه علف لیمو در شرایط گلخانه

Figure 2- The interaction effect of fungus and salinity stress on lemongrass catalase content under greenhouse conditions (LSD, $p \leq 0.05$)

پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز

اثر ساده قارچ، شوری و اثر متقابل شوری و تلقیح قارچ بر پراکسیداز و پلی فنل اکسیداز گیاه علف لیمو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تلقیح قارچ آربوسکولار در برابر عدم حضور آن در سطوح شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر به میزان ۵۲/۷۲ درصد باعث بهبود پراکسیداز شد (شکل ۳). نتایج داده‌های به دست آمده براساس واریانس نشان داد که اثر متقابل سطوح شوری و تلقیح قارچ بر پلی فنل‌اکسیداز گیاه علف لیمو در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که تحت شرایط تنش شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر، پلی‌فنل‌اکسیداز در گیاه علف لیمو تلقیح شده به قارچ آربوسکولار به میزان ۳۳/۴۱ درصد در مقایسه با شاهد (عدم تلقیح) افزایش یافت (شکل ۳). افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در تیمار میکوریزا و تیمار شوری به این دلیل می‌باشد که سیستم دفاعی گیاه تولید آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را برای خنثی کردن شکل‌های سمی اکسیژن افزایش می‌دهد و قارچ شدت این افزایش را بهبود می‌بخشند که می‌تواند به‌دلیل ساختمان شیمیایی ایزوآنزیم‌های فلزی مس و روی و منگنز باشد. همچنین فاکتورهای هورمونی ارسالی برای ساخت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نیز حاوی عناصر روی و کلسیم است (Porcel *et al.*, 2016). قارچ‌های میکوریزا با افزایش جذب عناصر غذایی سبب ارسال بیشتر فاکتورهای هورمونی و افزایش فعالیت آنزیم‌ها می‌شوند (Khalvandi *et al.*, 2017) که همگی در افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی ازجمله پراکسیداز می‌توانند مؤثر باشند.





شکل ۳- اثر برهمکنش قارچ و تنش شوری بر محتوی آنزیم‌های الف) پراکسیداز و ب) پلی فنل اکسیداز گیاه علف لیمو در شرایط گلخانه

Figure 3- The interaction effect of fungus and salinity stress on the a) peroxidase and b) lemongrass polyphenol oxidase contents in greenhouse conditions

(LSD, $p\leq 0.05$)

نتیجه‌گیری

به‌طور خلاصه، نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که تلقیح گیاه علف لیمو با قارچ، می‌تواند آن را در برابر تنش شوری محافظت کند. با توجه به یافته‌های این مطالعه نشان داده شد که تلقیح گیاه علف لیمو با قارچ میکوریزای آربوسکولار باعث افزایش فعالیت آنزیم‌ها شده و منجر به سازگاری گیاه در برابر شوری می‌شود. به‌طوری‌که کاربرد قارچ‌های میکوریزا در حضور تنش شوری به دلیل جذب عناصر غذایی و آب منجر به بهبود رشد گیاه علف لیمو شد. با بررسی صفات ارتفاع بوته، طول ریشه، وزن تر و خشک برگ، محتوای نسبی آب، آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و پلی فنل‌اکسیداز اندازه‌گیری شده می‌توان نتیجه گرفت که با به کارگیری قارچ‌های میکوریزا می‌توان تحمل به شوری در گیاه علف لیمو را افزایش داد و اقدام به کشت آن در خاک شور نمود. به نظر می‌رسد گونه آربوسکولار برای بهبود رشد گیاه علف لیمو در همه شرایط مناسب باشد.

منابع

1. Latef, A.A.H.A., Hashem, A., Rasool, S., Abd_Allah, E.F., Alqarawi, A.A., Egamberdieva, D., Jan, S., Anjum, N.A., & Ahmad, P. (2016). *Arbuscular mycorrhizal* symbiosis and abiotic stress in plants: a review. *Journal of Plant Biology*, *59*, 407-426. http://dx.doi.org/10.1007/s12374-016-0237-7
2. Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. In *Methods in enzymology* (Vol. 105, pp. 121-126). Academic Press. http://dx.doi:10.1016/s0076-6879(84)05016-3
3. Ait-El-Mokhtar, M., Baslam, M., Ben-Laouane, R., Anli, M., Boutasknit, A., Mitsui, T., Wahbi, S., & Meddich,

A. (2020). Alleviation of detrimental effects of salt stress on date palm (*Phoenix dactylifera* L.) by the application of arbuscular mycorrhizal fungi and/or compost. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *4*, 131. https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00131
4. Amanifar, S., & Toghranegar, Z. (2020). The efficiency of arbuscular mycorrhiza for improving tolerance of *Valeriana officinalis* L. and enhancing valerenic acid accumulation under salinity stress. *Industrial Crops and Products*, *147*, 112234. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112234
5. Ashraf, M., & Ali, Q. (2008). Relative membrane permeability and activities of some antioxidant enzymes as the key determinants of salt tolerance in canola (*Brassica napus* L.). *Environmental and Experimental Botany*, *63*(1-3), 266-273. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.11.008
6. Azarkish, P., Doosti Irani, A., Hoseseini, A.H., & Mohammadi, R. (2014, May). *Medicinal plants capacities and sustainable capital for Iran's economic progress*. In Fourth Iranian Islamic Model of Progress Conference, Iran's Progress, Past, Present and Future, Tehran (pp. 19-20) (In persion).
7. Banerjee, A., & Roychoudhury, A. (2017). Effect of salinity stress on growth and physiology of medicinal plants. *Medicinal Plants and Environmental Challenges*, 177-188. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68717-9_10
8. Benavídes, M.P., Marconi, P.L., Gallego, S.M., Comba, M.E., & Tomaro, M.L. (2000). Relationship between antioxidant defence systems and salt tolerance in Solanum tuberosum. *Functional Plant Biology*, *27*(3), 273-278. https://doi.org/10.1071/PP99138
9. Bonacina, C., Trevizan, C.B., Stracieri, J., dos Santos, T.B., Gonçalves, J.E., Gazim, Z.C., & de Souza, S.G.H. (2017). Changes in growth, oxidative metabolism and essential oil composition of lemon balm (*'Melissa officinalis*' L.) subjected to salt stress. *Australian Journal of Crop Science*, *11*(12), 1665-1674.
10. Bunn, R., Lekberg, Y., & Zabinski, C. (2009). Arbuscular mycorrhizal fungi ameliorate temperature stress in thermophilic plants. *Ecology*, *90*(5), 1378-1388. https://doi.org/10.1890/07-2080.1
11. Elhindi, K.M., El-Din, A.S., & Elgorban, A.M. (2017). The impact of *Arbuscular mycorrhizal* fungi in mitigating salt-induced adverse effects in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Saudi Journal of Biological Sciences*, *24*(1), 170-179. https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.02.010
12. El-Zahara, F., & El-tony, H. (2020). Effect of the use of *Arbuscular mycorrhiza* for plant growth promotion on morpho-physiological properties of *Antirrhinum majus* L. under salinity stress. *Acta Scientific Agriculture*, *4*(7), 139-149.
13. Evelin, H., Devi, T.S., Gupta, S., & Kapoor, R. (2019). Mitigation of salinity stress in plants by *Arbuscular mycorrhizal* symbiosis: current understanding and new challenges. *Frontiers in Plant Science*, 470. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00470
14. Gill, S.S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, *48*(12), 909-930. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016
15. He, J., Yang, B., Dong, M., & Wang, Y. (2018). Crossing the roof of the world: Trade in medicinal plants from Nepal to China. *Journal of Ethnopharmacology*, *224*, 100-110. https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.04.034
16. Hosseinian, S., Iraji Marshak, M., Dehghani, A., & Saffronloo, Y. (2018). *Lemongrass and its pharmacological effects*, 2nd International Conference on Medicinal Plants, Organic Agriculture, Natural and Medicinal Materials, Mashhad. (In Persian)
17. Ilangumaran, G., & Smith, D.L. (2017). Plant growth promoting rhizobacteria in amelioration of salinity stress: a systems biology perspective. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 1768. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01768
18. Isayenkov, S.V., & Maathuis, F.J. (2019). Plant salinity stress: many unanswered questions remain. *Frontiers in Plant Science*, *10*, 80. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00080
19. Idrees, M., Naeem, M., Khan, M.N., Aftab, T., Khan, M.M.A., & Moinuddin. (2012). Alleviation of salt stress in lemongrass by salicylic acid. *Protoplasma*, *249*, 709-720. https://doi.org/10.1007/s00709-011-0314-1
20. Khalid, K.A., & Cai, W. (2011). The effects of mannitol and salinity stresses on growth and biochemical accumulations in lemon balm. *Acta Ecologica Sinica*, *31*(2), 112-120. https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2011.01.001
21. Khalvandi, M., Amerian, M.R., Pirdashti, H., Baradaran Firoozabadi, M., & Gholami, A. (2017). Effects of *Piriformospora indica* fungi symbiotic on the quantity of essential oil and some physiological parameters of peppermint in saline conditions. *Iranian Journal of Plant Biology*, *9*(2), 1-20. (In Persian). https://doi.org/10.22108/ijpb.2017.94775
22. Khazani, G., Khara, J., & Jabbarzadeh, Z. (2019). Effect of inoculation with mycorrhizal fungus *Glomus versiforme* on growth and some physiological factors of tomato under salinity stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, *11*(2), 23-36. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20088264.1398.11.2.3.5. (In Persian).
23. Mane, A.V., Deshpande, T.V., Wagh, V.B., Karadge, B., & Samant, J.S. (2011). A critical review on physiological changes associated with reference to salinity. *International Journal of Environmental Sciences*, *1*(6), 1192-1216.
24. Masayasu, M., & Hiroshi, Y. (1979). A simplified assay method of superoxide dismutase activity for clinical use. *Clinica Chimica Acta*, *92*(3), 337-342. https://doi.org/10.1016/0009-8981(79)90211-0

25. Moladoost, K., & Shahmoradi, M. (2020). Identification of challenges facing development of the medicinal plants sector in Iran. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *36*(5), 748-762. (In Persian). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2020.342868.2786
26. Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, *22*(5), 867-880. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232.
27. Porcel, R., Aroca, R., Azcon, R., & Ruiz-Lozano, J.M. (2016). Regulation of cation transporter genes by the *Arbuscular mycorrhizal* symbiosis in rice plants subjected to salinity suggests improved salt tolerance due to reduced Na+ root-to-shoot distribution. *Mycorrhiza*, *26*, 673-684. https://doi.org/10.1007/s00572-016-0704-5
28. Rabie, G.H., & Almadini, A.M. (2005). Role of bioinoculants in development of salt-tolerance of *Vicia faba* plants under salinity stress. *African Journal of Biotechnology*, *4*(3), 210. https://doi.org/10.5897/AJB2005.000-3041
29. Raymond, J., Rakariyatham, N., & Azanza, J.L. (1993). Purification and some properties of polyphenoloxidase from sunflower seeds. *Phytochemistry*, *34*(4), 927-931. https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)90689-7
30. Ritchie, S.W., Nguyen, H.T., & Holaday, A.S. (1990). Leaf water content and gas-exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, *30*(1), 105-111. https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025x
31. Sánchez-Blanco, M.J., Ferrández, T., Morales, M.A., Morte, A., & Alarcón, J.J. (2004). Variations in water status, gas exchange, and growth in *Rosmarinus officinalis* plants infected with *Glomus deserticola* under drought conditions. *Journal of Plant Physiology*, *161*(6), 675-682. https://doi.org/10.1078/0176-1617-01191
32. Singh, S.K., Sharma, H. C., Goswami, A.M., Datta, S.P., & Singh, S.P. (2000). In vitro growth and leaf composition of grapevine cultivars as affected by sodium chloride. *Biologia Plantarum*, *43*, 283-286. https://doi.org/10.1023/A:1002720714781
33. Tajmir Riahi, R., Etemadi, N.A., Morteza Nejad, F., & Sadeghi, I. (2014). Tolerance to salinity tolerance of native species of desert wheat grass. *Journal of Plant Process and Function*, *7*, 114-105. (In Persian)
34. Tian, C.Y., Feng, G., Li, X.L., & Zhang, F.S. (2004). Different effects of *Arbuscular mycorrhizal* fungal isolates from saline or non-saline soil on salinity tolerance of plants. *Applied Soil Ecology*, *26*(2), 143-148. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2003.10.010
35. Tuteja, N. (2007). Mechanisms of high salinity tolerance in plants. *Methods in Enzymology*, *428*, 419-438. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(07)28024-3
36. Zandavalli, R.B., Dillenburg, L.R., & de Souza, P.V.D. (2004). Growth responses of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) to inoculation with the mycorrhizal fungus *Glomus clarum*. *Applied Soil Ecology*, *25*(3), 245-255. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2003.09.009
37. Zhang, Z., Zhang, J., Xu, G., Zhou, L., & Li, Y. (2019). *Arbuscular mycorrhizal* fungi improve the growth and drought tolerance of *Zenia insignis* seedlings under drought stress. *New Forests*, *50*(4), 593-604. https://doi.org/10.1007/s11056-018-9681-1